臭虫的再猖獗、生物学及防治研究进展

王 磊[1], 王常禄[2,*], 许益镌[1], 曾 玲[1,*]

(1. 华南农业大学农学院, 广州 510642; 2. Department of Entomology, Rutgers University, New Brunswick, NJ 08901, USA)

摘要: 由于 DDT 等现代杀虫剂的问世,臭虫在 20 世纪 40 – 50 年代以后在全球大部分地区尤其是发达国家和地区销声匿迹,但近 10 多年来臭虫在部分国家和地区重新出现。本文对其再猖獗原因、生物学和行为、饲养、抗药性、监测与防治策略进行了综述,旨在引起国人的重视,对今后臭虫的监测和防治起到抛砖引玉的作用。本文分析了近 15 年有关温带臭虫 *Cimex lectularius* L. 和热带臭虫 *C. hemipterus* (F.)的研究文献。臭虫再猖獗被认为是因为它对目前使用的杀虫剂例如拟除虫菊酯类等产生抗性以及频繁的地区及国际交往等因素造成的。简单、经济和大规模臭虫种群饲养方法——人工膜饲喂法的研发为我们开展臭虫生物学和生态学研究提供了便利。控制和根除臭虫目前仍较困难,采用害虫综合治理(integrated pest management, IPM)策略,包括臭虫知识宣传、主动监测、非化学防治方法(例如:经常洗涤床上用品、蒸汽熏蒸、热处理、使用床垫罩、在家具腿下放置臭虫拦截装置)、有选择使用杀虫剂以及定期监测及反复防治等措施,可达到很好的防控效果。在我国部分地区,臭虫发生也呈上升趋势,工人宿舍和火车车厢是常见的臭虫为害环境。有必要对我国臭虫发生现状及其抗药性进行调查与监测。还应借鉴国际先进技术,研制出我国适用的、有效的监测工具和防治方法,并根据我国具体国情制定出切实可行的防治标准。同时积极开展臭虫科普宣传,做到早发现、早防治,防止臭虫再猖獗和扩散。

关键词: 臭虫; 再猖獗; 生物学; 行为; 抗药性; 扩散; 害虫综合治理

中图分类号: Q968 **文献标识码**: A **文章编号**: 0454-6296(2016)09-1021-12

Current research on the resurgence, biology and control of bed bugs

WANG Lei[1], WANG Chang-Lu[2,*], XU Yi-Juan[1], ZENG Ling[1,*] (1. College of Agriculture, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 2. Department of Entomology, Rutgers University, New Brunswick, NJ 08901, USA)

Abstract: Since the mid-1990s, many developed countries and regions experienced a resurgence of bed bugs. In this article, we reviewed the researches on bed bugs, including the resurgence causes, their biology and behavior, artificial rearing techniques, insecticide resistance, and monitoring and management techniques. We summarized the studies on the common bed bug (*Cimex lectularius* L.) and the tropical bed bug (*C. hemipterus* (F.)) during the past 15 years. The recent resurgence of bed bugs was likely to be caused by high levels of insecticide resistance of bed bugs and frequent travel. Simple and inexpensive artificial membrane blood-feeding techniques were developed for mass rearing and maintenance of bed bugs. Integrated pest management (IPM) was shown to be the most effective and sustainable management strategy of bed bugs which includes education, proactive inspection, nonchemical treatments (laundering, encasing mattresses and boxsprings, steaming, installing intercepting devices), chemical treatments, and follow-up service visits until elimination is confirmed. Some areas in China, such as the Pearl River Delta area in Guangdong province, are also experiencing rising

作者简介: 王磊, 男, 1986 年 10 月生, 安徽阜阳人, 博士, 研究方向为昆虫生态学及害虫防治, E-mail: wanglei1107@outlook.com

* 通讯作者 Corresponding authors, E-mail: cwang@aesop.rutgers.edu; zengling@scau.edu.cn

收稿日期 Received: 2016-05-23; 接受日期 Accepted: 2016-09-06

incidences of bed bug infestations. Infestations were primarily found in migrant worker dormitories and passenger trains. It is urgent to monitor the occurrence of bed bugs and their insecticide resistance in China. Effective monitoring tools and control methods suitable for the unique environment in China are also needed. Establishing standards for the control of bed bug infestations will be very important. Government-organized community-wide bed bug education and control campaigns should be considered to increase public awareness and curb the current bed bug resurgence.

Key words: Bed bugs; resurgence; biology; behavior; insecticide resistance; spread; integrated pest management

臭虫属半翅目(Hemiptera)臭虫科(Cimicidae),是一类吸血的无翅昆虫。其中温带臭虫 *Cimex lectularius* L. 和热带臭虫 *C. hemipterus* (F.)与人类密切相关,主要靠吸食人血为生(Delaunay *et al*., 2011),这两种臭虫若虫和成虫均需吸血才能发育和繁殖(Reinhardt and Siva-Jothy, 2007)。温带臭虫和热带臭虫在我国均有分布(邓国藩和冯兰洲, 1953; Wang *et al*., 2013)。近 10 多年来,臭虫在欧洲、北美、澳大利亚和亚洲等部分发达国家和地区重新出现(Hwang *et al*., 2005; Potter, 2006; Doggett and Russell, 2008; Kilpinen *et al*., 2008; Lee *et al*., 2008; Hirao, 2010; Suwannayod *et al*., 2010; Davies *et al*., 2012)。我国部分地区也日趋常见,有广泛发生的风险(Wang *et al*., 2013, 2015)。大多数人被臭虫叮咬后皮肤出现红肿、瘙痒等免疫反应症状(Goddard, 2009)。臭虫侵扰会引起焦虑和失眠(Susser *et al*., 2012)。虽尚未有臭虫传播疾病的报道,但在臭虫体内检测到了与人类疾病相关的病菌。热带臭虫体内和粪便中均发现了巴尔通体 *Bartonella quintana*(Angelakis *et al*., 2013; Leulmi *et al*., 2015)。实验室条件下证实温带臭虫可以携带克氏锥虫 *Trypanosoma cruzi*,并在小鼠间可传播恰加斯病(Salazar *et al*., 2015)。因此臭虫仍有成为传染介体的可能性。除了医学上的重要性外,臭虫再发生可以造成重大经济损失。臭虫是最难防治的城市昆虫之一(Moore and Miller, 2009)。在美国,平均每个被臭虫侵染公寓防治费用在 500 美元以上(Potter *et al*., 2013)。据估算,澳大利亚因臭虫再发生而造成的经济损失每年高达 1 亿澳元,其中包括防治费用、家具和生活用品重新置换以及被臭虫叮咬后的治疗费用等(Doggett and Russell, 2008)。

针对臭虫的再发生,国外昆虫学家对其进行了深入研究,但国内对臭虫的研究较少。本文系统介绍了近 15 年有关臭虫生物学、生态学以及防治方法等方面的研究,以期对我国今后臭虫的预防、综合治理及研究提供借鉴。

1 臭虫再猖獗及其原因

臭虫在 20 世纪 40 – 50 年代前是常见的吸血昆虫(Potter, 2011),DDT 等现代杀虫剂的问世,才使臭虫在全球尤其在发达国家发生不再普遍(Busvine, 1957)。近年来臭虫在部分发达国家和地区重新广泛发生(Davies *et al*., 2012),比如在 2014 年对美国新泽西州 4 个城市 2 372 个低收入家庭的调查发现 12.3% 的公寓有臭虫危害(Wang *et al*., 2016a)。2001 – 2004 年间,澳大利亚的害虫防治公司臭虫防治业务数量显著上升,有的公司上升了近 700%(Doggett and Russell, 2008)。

在中国臭虫发生有上升趋势,尤以珠江三角洲地区最为严重(Wang and Wen, 2011; Wang *et al*., 2013; 李兴文等, 2013)。发生场所主要是工厂宿舍、出租房、火车、军营。臭虫在东莞和深圳工业区内的外来务工人员集体宿舍为害最重,阳性率平均为 52.1%(李兴文等, 2013; Wang *et al*., 2015)。而基于中国知网数据库(http://www.cnki.net/)检索到的 2000 – 2015 年臭虫相关的 68 篇文献中,有关旅客列车上臭虫发生的报道有 12 篇。

臭虫在部分发达国家重新暴发原因被认为与下面几种因素有关:频繁的国际旅行、公众缺少对臭虫的知识、缺乏有效的防治方法和工具以及臭虫对杀虫剂的抗药性(Romero *et al*., 2007; Mamidala *et al*., 2012)。多个国家如美国、丹麦、泰国、英国、澳大利亚等的温带臭虫和热带臭虫种群都显示出对拟除虫菊酯类杀虫剂较高的抗药性(Romero *et al*., 2007; Zhu *et al*., 2010; Kilpinen *et al*., 2011)。不适当的防治方法也起到了推波助澜的作用(Doggett *et al*., 2012)。

2 臭虫的生物学和行为

在实验室条件下(26.0℃,相对湿度 70%,光周

期 12L∶12D)，热带臭虫雌虫取食一次后产卵 13～50 粒。卵发育期为 5～7 d，若虫的前 4 龄的每龄龄期为 3～4 d，5 龄的发育时间为 4～5 d。每个龄期若虫必须至少取食一次才能蜕皮成功，最终发育成成虫，成虫雌雄性比为 1∶1(How and Lee, 2010a)。温带臭虫卵至成虫发育期平均为 35～40 d，不同品系间有明显差异，平均每头雌臭虫日产 0.64 个卵，平均成虫寿命是 127 d(Polanco *et al.*, 2011a)。臭虫从寄主获得血液的效率会直接影响到其种群动态，温带臭虫在寄主上的取食效率要明显高于热带臭虫，使得其能比热带臭虫达到更高的种群数量(Araujo *et al.*, 2009)。在聚集群体里的温带臭虫若虫发育速度也要快于被隔离的单个若虫(Saenz *et al.*, 2014)。温带臭虫聚集体中雌雄成虫比例大约为 1∶1(Pfiester *et al.*, 2009)。

臭虫有很强的耐饥饿能力，温带臭虫野外种群在饥饿条件下可以存活 5 个月之久(Cooper *et al.*, 2015a)。在饥饿条件下，温带臭虫代谢率呈下降趋势以减少能量消耗(DeVries *et al.*, 2015)。温度和湿度可以显著影响热带臭虫存活率，在 20℃ 和高湿度(>75%)下的热带臭虫存活时间较长，达 3 个月，饥饿状态下的热带臭虫在失去 35%～45% 体重时才开始死亡(How and Lee, 2010b)。

臭虫有聚集行为，研究臭虫聚集物质对臭虫防治有直接意义。Siljander 等(2008)发现 10 种挥发物对臭虫有聚集作用；Gries 等(2015)发现温带臭虫的聚集信息素主要是由 5 种挥发物：二甲基二硫醚、二甲基三硫醚、反-2-己烯醛、反-2-辛烯醛、2-已酮以及挥发性差的组织胺组成的混合物。公寓内诱集试验证明，这 6 种物质的混合物对饥饿和喂饱的成虫和若虫都具有很好的吸引性。

与其他吸血昆虫相似，二氧化碳对臭虫有很强的吸引作用，热量也有明显的吸引作用，但次之(Wang *et al.*, 2009)。人体气味对臭虫有明显吸引作用，但吸引性不强(Harraca *et al.*, 2012)。Singh 等(2012)发现，在二氧化碳存在下增加壬醛、1-辛烯-3-醇、留兰香精油和芫荽精油等组成的化学诱饵，可明显提高对臭虫吸引，而在二氧化碳存在下增加热源，不能提高对臭虫的吸引。在有人居住的公寓内试验，在没有二氧化碳存在下添加诱饵，提高诱捕臭虫数 2.2 倍(Singh *et al.*, 2013c)，而在二氧化碳存在条件下添加壬醛、L-乳酸、1-辛烯-3-醇和留兰香精油等组成的化学诱饵，提高诱捕器效果 7.2 倍(Singh *et al.*, 2015b)。

视觉在臭虫寻找寄主和庇护所方面也发挥着重要作用。温带臭虫喜欢选择垂直的物品，并能在较暗的环境下进行选择(Singh *et al.*, 2015a)。初孵若虫对庇护所的颜色没有偏好性，其他若虫及成虫臭虫对黑色和红色的庇护所显示出明显的偏好性(Singh *et al.*, 2015a; McNeil *et al.*, 2016)，这可能是其复眼的发育造成的。臭虫对不同质地的表面有明显的选择，即使质地上细微的差别也会对臭虫的行为有明显的影响(Singh *et al.*, 2015a)。了解这些行为对设计臭虫监测器或防治有重要指导意义。

3　臭虫饲养

建立臭虫室内饲养标准流程和大规模种群对研究臭虫的生物学和生态学非常重要。臭虫的饲养方式有活体饲喂，即使用活体动物(如啮齿类动物、鸟类等)直接饲喂臭虫(范惠炯，1982; Aak and Rukke, 2014)，但该方法不够稳定，操作费时。研究人员常用的是更简单、经济的人工膜饲喂法。其方法是将血食放在尾端开口的玻璃管里，玻璃管尾端使用封口膜封口，使用热水循环系统使血食保持在 37℃，然后将臭虫放置在玻璃管尾端下方进行饲喂，一周饲喂一次(Montes *et al.*, 2002)。此方法可以用于臭虫种群的大量饲养，其缺点是如果臭虫在取食时封口膜破裂，可能会使血液倒灌至臭虫饲养罐内。Aak 和 Rukke(2014)对 Montes 等(2002)的方法进一步简化，设计了一种更简单和经济的方法来饲养臭虫种群。首先使用封口膜制作血袋，将血袋放置在水浴锅上使其温度保持在 37.6℃ 左右，然后将臭虫盒放在血袋上进行饲喂，如图 1 所示。使用人工血袋饲喂和小白鼠直接饲喂的温带臭虫，取食效率和繁殖力无明显差异；在制作人工血袋时，需要将封口膜在两个方向上拉伸原来的一倍，这样才能保证臭虫取食成功(Aak and Rukke, 2014)。目前市场上有一种商业化的用于吸血昆虫饲养的装置(Hemotek 61W System, Discovery Workshop, Accrington, 英国)，如图 2 所示。相比于 Aak 和 Rukke(2014)的饲养装置，此装置通过金属导热加热血食并使其保持在适宜的温度而不是通过加热水来保持温度，操作较方便；该设备还可以同时喂食多个种群，饲养效率高。但此装置相比其他的饲养装置较贵。

血源对臭虫的发育有明显影响(Aak and Rukke, 2014; Rahim *et al.*, 2016)。人血是最适宜的

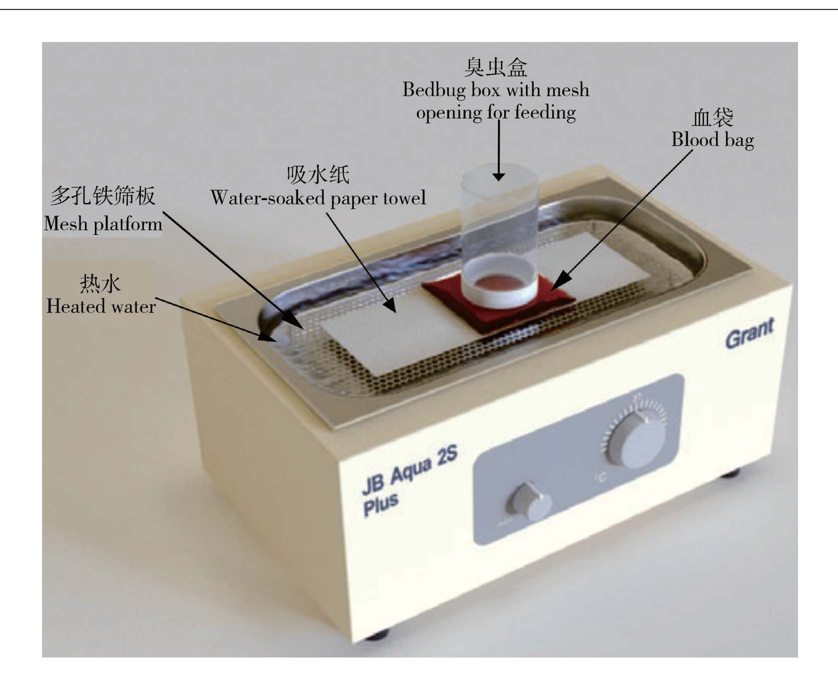


图 1 温带臭虫人工饲养装置(改自 Aak 和 Rukke, 2014)

Fig. 1 Artificial membrane feeding system for rearing *Cimex lectularius* (adapted from Aak and Rukke, 2014)

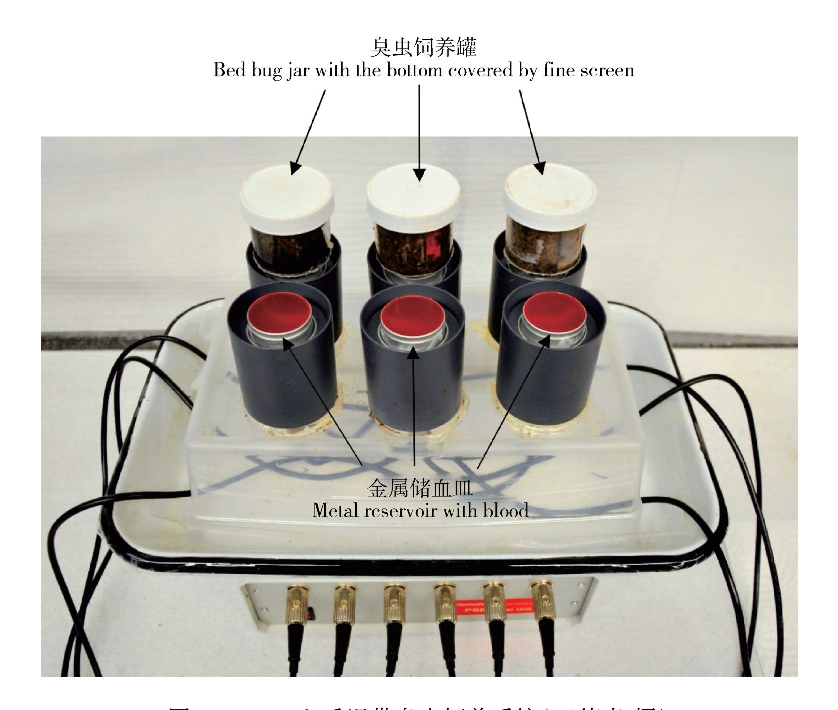


图 2 Hemotek 氏温带臭虫饲养系统(王德森 摄)

Fig. 2 Hemotek membrane feeding system for rearing *Cimex lectularius* (photo by WANG De-Sen)

的饲养血源,但是价格昂贵且不易得到;鸡血、豚鼠血和兔血等是不错的臭虫饲养血源(黎明达等, 1984; Barbarin *et al*., 2013)。去纤维血比起加入抗凝血剂的血更有利臭虫的健康发育。血液最多可在4℃下可保存3个星期,冷冻后的血液不能用来饲养臭虫。

臭虫喜欢隐藏在黑暗遮蔽处, 吸血时需要附着点, 且对温度较敏感,这些特点在臭虫饲喂中应当注意(黎明达等, 1984)。在饲养过程中,需要重点关注刚刚采集回实验室的野外臭虫种群。实验室内的人工血袋因为没有寄主的化学信号,往往只有少数个体成功取食。可以通过将人工血袋在人皮肤上摩擦几次来提高血袋的对臭虫的吸引力,延长喂食时间和增加取食频率,提高臭虫种群取食率。

4 臭虫的扩散

臭虫的扩散方式有两种：主动扩散和被动扩散。主动扩散是臭虫通过爬行扩散到新的地点。其采用的通道之一是楼道（Wang *et al.*, 2010）。在高层公寓楼内进行的标记释放试验表明，臭虫可从一个公寓爬行到相邻（左侧、右侧、楼道对面及楼下）的公寓，14～15 d 后探测到的扩散率为 0.0%～5.0%，臭虫在一个公寓内的不同房间之间也有频繁的活动（Cooper *et al.*, 2015a）。5 龄若虫和成虫是热带臭虫的主要扩散者，饥饿的较不饥饿的活动更频繁；如果只观察到成虫和老熟若虫，说明该区域为新发生区，应尽早防治，防止其扩散（How and Lee, 2010c）。被动扩散是臭虫随被侵染的物品等扩散到新地点。例如务工人员因产业转移将臭虫随行李物品从广东省东莞市带到福建省宁德市（袁斌等, 2015）。对美国 190 户遭受臭虫为害且相信知道臭虫来源的居民访问发现，57% 的是从邻居传入，37% 的是从旧家具、居民间访问或公共场所传入（Wang *et al.*, 2016a），说明两种扩散方式都常见。臭虫主动扩散的距离很短，仅为几米到几十米（Cooper *et al.*, 2015a），长距离传播要靠被动扩散。

臭虫在全球不同地区重新出现的原因之一被认为是臭虫种群随人类迁移长距离扩散到其他地区，从而导致其重现（Saenz *et al.*, 2012）。目前有许多研究为这一假说提供了证据支持。例如，法国的温带臭虫种群大多来源于少量个体，甚至可能来源于一个已交配的雌虫，种群内基因多样性低而不同种群总体基因多样性高（Akhoundi *et al.*, 2015）。对美国东部几个州臭虫的研究也显示，温带臭虫种群绝大多数来源于一个已交配雌虫及其后代或者一个雌虫与多个与其亲缘极近的雄虫交配的后代；种群内基因多样性低而不同种群间基因多样性高（Saenz *et al.*, 2012）。但是另一研究发现，美国内布拉斯卡州和密苏里州的臭虫种群内基因多样性非常高，且这两个州的臭虫种群亲缘关系较远，根据等位基因的变异不能确定臭虫种群如何建立的（Narain *et al.*, 2015）。臭虫抗性种群来源还需要进一步广泛取样和调查。最近，温带臭虫转录组及其全基因组图的测序、组装和注释（Bai *et al.*, 2011；Rosenfeld *et al.*, 2016；Benoit *et al.*, 2016），将有助于我们比较不同国家和地区的臭虫种群基因差异，描绘出臭虫抗性种群的长距离扩散路线图，帮助我们更好地跟踪、控制臭虫的发生。

5 臭虫的抗药性和抗性机理

已知野外臭虫种群大多数都对拟除虫菊酯类杀虫剂有明显的抗性（Davies *et al.*, 2012）。弄清楚臭虫抗药性机制尤其是对拟除虫菊酯类杀虫剂的抗性机制，将有利于以后更有效地控制抗性种群。已知臭虫抗药性的机理包括代谢解毒能力提高、钠离子通道的敏感性降低和表皮穿透能力下降（Davies *et al.*, 2007；Mamidala *et al.*, 2012；Koganemaru *et al.*, 2013；Lilly *et al.*, 2016），这些抗性机制可能在抗性臭虫种群中同时存在（Zhu *et al.*, 2013）。

温带臭虫对溴氰菊酯的抗性的一个原因是钠离子通道亚单位基因上发生缬氨酸到亮氨酸突变（V419L）和亮氨酸到异亮氨酸突变（L925I），造成抗击倒类型的神经敏感度降低（Yoon *et al.*, 2008）。对美国 110 个温带臭虫野外种群的调查显示，88% 的种群带有这两个突变位点（Zhu *et al.*, 2010）。这些结果表明，温带臭虫对拟除虫菊酯类杀虫剂的抗性普遍存在。以色列温带臭虫抗性种群除了携带上述的两个突变位点外，还携带了异亮氨酸到苯丙氨酸突变（I936F）突变位点（Palenchar *et al.*, 2015）。在热带臭虫抗性种群中发现了亮氨酸到缬氨酸突变位点（L899V）、蛋氨酸到异亮氨酸突变位点（M918I）、天冬氨酸到甘氨酸突变位点（D953G）和亮氨酸到苯丙氨酸突变位点（L1014F），而 M918I 和 L1014F 突变位点被认为在热带臭虫对拟除虫菊酯类杀虫剂的抗击倒抗性机制中发挥重要作用（Dang *et al.*, 2015）。

温带臭虫抗性种群与敏感种群相比，表皮明显增厚（Lilly *et al.*, 2016），62 个与表皮蛋白编码相关的序列叠连群大量上调，也表明抗性臭虫体壁增厚或体表结构发生变化，（Koganemaru *et al.*, 2013）。此外，细胞色素 P450 和羧酸酯酶候选基因在温带臭虫抗性种群中显著过量表达，而沉默抗性种群编码 NADPH 细胞色素 P450 氧化还原酶（NADPH-Cytochrome P450 reductase）的基因会导致该种群的抗药性显著降低（Zhu *et al.*, 2012），证实细胞色素 P450 代谢解毒也参与了温带臭虫抗药性形成。

虽然温带臭虫氯氰菊酯抗性品系世代时间缩短（Polanco *et al.*, 2011a；Gordon *et al.*, 2015）、卵到成虫的成活率高于敏感品系（Polanco *et al.*, 2011a），但抗性品系后代出现性比偏雄、产卵时间缩短和繁

殖力下降等不利于种群发展的特性(Gordon *et al.*, 2015)。而且在饥饿条件下,温带臭虫抗拟除虫菊酯类品系的若虫和成虫存活寿命要显著短于敏感品系(Polanco *et al.*, 2011b)。

快速检测温带臭虫种群的抗药性水平是一个急需解决的问题。Dang 等(2014)介绍了一种简单快速鉴定温带臭虫对拟除虫菊酯类杀虫剂是否有抗性的方法。在室温 23±1℃下,将 10 头温带臭虫放于灭蝇胺浸渍垫上,如果在 1 h 后才被全部击倒,说明该种群对拟除虫菊酯类杀虫剂具有抗性。

6　臭虫的监测与防治

6.1　臭虫监测

由于人们对臭虫叮咬后反应不一、认知情况存在差异或其他原因,通过调查访问或者受害人反映得到的臭虫为害情况往往不够准确,因此有必要对臭虫进行主动监测,这可以在其种群个体数量较低时发现其为害,比较容易消灭臭虫,降低其对人造成的伤害(Bennett *et al.*, 2016; Raab *et al.*, 2016)。臭虫的监测也有助于减少臭虫的扩散,对社区臭虫防控很有必要。同时,防治后仍需要进一步进行监测去了解防控效果。因此无论是臭虫发生调查还是防控效果评估,臭虫种群的监测都是非常重要的一步。常规的臭虫检测方法是目视法,即检查人员通过检查到臭虫活体、死尸、蜕皮或者粪便等来判定臭虫发生,局限性是费时且调查人员需要具有丰富的经验(Harlan, 2006)。Pfiester 和 Koehler(2008)尝试训练搜寻犬寻找臭虫,在室内条件下,搜寻犬的正确率达到 97.5%。但在臭虫侵染公寓内搜寻犬的臭虫危害平均检出率仅为 44%,平均误检率(没有臭虫但检测显示有臭虫)为 15%(Cooper *et al.*, 2014)。不同公司间的搜寻犬的搜寻准确率相差很大。同一搜寻犬在不同时间的表现也变化很大,且搜寻犬的费用较高。

高效、经济的臭虫监测器成为目前研究的重点。随着臭虫的再猖獗,市场上出现了很多臭虫监测器,Climbup 截获器是目前研究证实最经济有效的臭虫监测器(Wang and Cooper, 2011a),它明显比目视法更灵敏。快速目视法与有选择的安放 Climbup 截获器相结合,是在公寓楼进行全楼臭虫调查的经济、高效的方法(Wang *et al.*, 2016a)。

目前市场上有使用二氧化碳、散热装置以及模拟熟睡人类释放的气味化学物组成的臭虫诱捕器(Wang and Cooper, 2011a)。NightWatch 是目前市场上可见的唯一证明有效的诱捕器,但价格昂贵。使用干冰做二氧化碳来源的自制诱捕器最有效,但干冰不方便获得,且有意外伤害的危险(Wang *et al.*, 2011)。根据酵母产生二氧化碳的原理,将 150 g 酵母、750 g 糖和 3 L 40℃热水混合在一起放入一大的容器内,再将盛放液体的容器放在一陷阱上,便可制造出一种简易、方便的臭虫引诱装置,其引诱效果不差于使用干冰制作的引诱装置(Singh *et al.*, 2015b)。

6.2　臭虫的物理防治

臭虫主要隐藏在人类休息的床和其他家具上,在这些家具上使用杀虫剂后身体接触杀虫剂残留的可能性很高,同时因为臭虫抗药性的普遍存在,非化学的防治方法得到了很大发展。常见的方法有:经常洗涤和烘干床单等床上用品;将床垫用床垫罩包裹减少臭虫隐藏处和阻止藏匿的臭虫爬出为害;在家具四脚下放置臭虫拦截装置,同时将床和家具与墙体隔开一定距离;对于可见的臭虫使用小型手持家用吸尘器或镊子移除(Naylor and Boase, 2010; Wang *et al.*, 2012b)。

高温可有效灭杀臭虫。臭虫不同发育阶段对温度的耐受能力不同,在 45℃条件下,全部温带臭虫成虫死亡需要 94.8 min,而卵则需要 7 h(Kells and Goblirsch, 2011)。温度在 49℃时 1 min 可将所有温带臭虫成虫致死,而只有温度达到 54.8℃时所有卵才均不能孵化(Pereira *et al.*, 2009; Kells and Goblirsch, 2011)。目前美国市场上有防治臭虫的加热盒(heat box),用于处理被侵染的小件物品如衣物、行李箱等(Wang and Cooper, 2016)。处理家具等大型物品,可以使用加热箱(heat chamber)(Stedfast and Miller, 2015)。一些专业防治公司通过对整个公寓的热处理消灭臭虫(Braun, 2014),这种方法需要顾客做大量的准备工作,防治时间一个公寓要一整天的时间,因此在所有防治方法中费用最高。但并不一定保证能够消灭 100% 的臭虫,尤其是臭虫数量大、分散、杂物多的情况下,有些臭虫可能藏在墙缝等不易升温的地方而得以存活,因此,防治后应放置监测器,过 2~4 星期复查,确保无臭虫后,再停止防治。

温带臭虫的所有生长阶段的过冷却点在 −21.3~−30.3℃之间,将臭虫放置于 −13℃下 24 h 以上也可杀死所有发育阶段的温带臭虫,因此可将受臭虫侵害的小件物品放入在家用冰箱内 1~4 d 进行灭

虫处理(Olson *et al.*, 2013)。

二氧化碳熏蒸是一个有效的臭虫灭除手段,二氧化碳来源可以是干冰或压缩二氧化碳瓶。将被臭虫侵染的物品放入密封的塑料袋内, 24 ~48 h 的处理可以杀死所有发育阶段的温带臭虫(Wang *et al.*, 2012a),但目前市场上尚没有注册的二氧化碳熏蒸产品。

6.3　臭虫的生物防治

Barbarin 等(2012)探讨了生物防治方法治理臭虫的可能性,球孢白僵菌 *Beauveria bassiana* 在实验室条件下对温带臭虫的致死率超过 95%,野外的防治效果有待试验观察。环境因子和生物因子会影响虫生真菌对臭虫的致死效果。例如,金龟子绿僵菌 *Metarhizium anisopliae* 只有在湿度 98% 时对温带臭虫的侵染效果才较为理想(Ulrich *et al.*, 2014),同时温带臭虫的防御物质反-2-己烯醛和反-2-辛烯醛对金龟子绿僵菌的生长也具有抑制作用(Ulrich *et al.*, 2015)。即使是虫生真菌对臭虫有很好的致死效果,但是在居室内大量使用虫生真菌是否会对人类健康产生负面影响,是必须考虑的问题。

6.4　臭虫的化学防治

化学防治仍是控制臭虫为害的重要手段。Potter 等(2013)对 251 个美国害虫防治公司问卷调查发现,94% 的公司使用杀虫剂防治臭虫,常用的杀虫剂是拟除虫菊酯类或拟除虫菊酯类与烟碱类混合物。实验室实验表明,常用的杀虫剂之间有明显差异,大多杀虫剂的残效较低(Wang *et al.*, 2016b)。在臭虫危害的公寓试验发现,单独使用农药处理效果不理想(Moore and Miller, 2009),但如果操作仔细,定期复查和防治,也可达到很好的效果(Wang *et al.*, 2007, 2012b)。高效氯氟氰菊酯、联苯菊酯、杀螟硫磷、氟虫腈对马来西亚和新加坡的热带臭虫种群仍有较好防治效果(How and Lee, 2011)。虽然调查有很多公司使用昆虫生长调节剂,但实验室结果发现烯虫酯和烯虫乙酯两种杀虫剂产品的标签浓度对臭虫没有明显的致死效果(Goodman *et al.*, 2013)。

无机杀虫剂相对低毒,但因使用不方便或速度慢,在臭虫防治中使用较有机杀虫剂少,其中硅藻土是一种常见的臭虫防治药剂(Wang and Cooper, 2011b),但 Potter 等(2013)在 6 个有臭虫为害的公寓用硅藻土防治,只有两个公寓臭虫效果较好。纯硅胶粉剂在 2013 年开始出现,它对臭虫的药效远高于硅藻土、拟除虫菊酯粉剂及吡虫啉和拟除虫菊酯液体制剂(Potter and Haynes, 2014; Singh *et al.*, 2016),有很好的应用前景。

伴随着臭虫再猖獗,很多以植物精油或洗涤剂为主要成分的臭虫防治产品出现,相比有机合成杀虫剂,对人及宠物更安全(Singh *et al.*, 2013a)。然而用 9 种植物精油和 2 种洗涤剂产品室内直接喷雾试验发现,仅有两种植物精油产品对臭虫若虫有较好的致死作用(Singh *et al.*, 2014)。Wang 等(2014)进一步对其中的一种植物精油产品(1% 香叶醇、1% 雪松油和 2% 月桂基磺酸钠的混合物)在受臭虫侵染的公寓与吡虫啉进行了比较试验,结果表明,12 个星期后,臭虫数量分别降低 93% 和 92%,两种产品的防治效果无明显差异。作为相对较安全的杀虫剂,植物精油产品适于未受过训练的消费者使用。

植物精油有强烈的气味,因此,有人尝试用植物精油的熏蒸作用来杀死臭虫。小容器试验(培养皿,94 mm×22 mm)中,肉桂油、丁香油、雪松油、天竺葵精油、迭迭香精油、柠檬草油、苦楝油、薄荷油和麝香草油在内的大部分植物精油对温带臭虫具有高的熏蒸效果;但是在大容器试验(垃圾袋,813 mm×762 mm)中,只有迭迭香精油能达到 99% 的杀灭效果(Feldlaufer and Ulrich, 2015)。能否使用植物精油熏蒸消灭臭虫侵染的物品,还需进行试验。

在防治方法方面,将含有 1% 氟氯氰菊酯的杀虫粉带绑在家具腿上,能有效抑制温带臭虫反弹,且使用方便(Wang *et al.*, 2013)。使用化学药剂进行熏蒸也是一种选择。例如,15℃下,285 $g \cdot h/m^3$ 的硫酰氟处理 24 h 可以完全杀灭温带臭虫的成虫、若虫和卵(Phillips *et al.*, 2014)。但是该处理方法价格昂贵,很少使用。用敌敌畏树脂条、加热器和风扇熏蒸房间,可以在 36 h 内杀死房间内事先放置的所有臭虫(卵、若虫、成虫),因操作时间长,此方法现在未被采用(Lehnert *et al.*, 2011)。

6.5　臭虫的综合治理

臭虫重新猖獗使得对臭虫的有效防治成为重要课题。为应对臭虫再猖獗,澳大利亚、欧洲和美国均制订了新的臭虫防治行业标准(National Pest Management Association, 2011; Doggett, 2013; Bed Bug Foundation, 2013)。通过对高层建筑内的臭虫分布特征进行分析,Wang 等(2010)建议加大宣传、早期监测以及使用更有效的防治方法抑制臭虫大发生。Singh 等(2013b)提出将综合治理策略应用在臭虫防治中,其中包括臭虫防治宣传、蒸汽熏蒸、每周洗涤床上用品、使用床垫罩、在床和沙发腿下放置

臭虫拦截装置、使用气雾剂和硅藻土以及定期监测及反复防治等措施,最终达到控制和根除臭虫的目的。Cooper 等(2015b)评价了一套有效的用于低收入人群住宅公寓臭虫综合治理方案,经过 1 年的应用,公寓小区内 98% 的处理过的公寓内臭虫被灭除,被臭虫侵染公寓数比例由原来的 15% 降至 2.2%。这套综合治理方案对我国当前臭虫防控具有较高的参考价值。其具体流程如下:首先对公寓的住户和管理者开展臭虫知识培训,并使用调查问卷和在每个公寓放置臭虫监测器方法了解各个公寓楼所有公寓的臭虫发生情况。第二,对臭虫发生的公寓采用两步法进行防治。第一步,使用非化学的和化学的方法处理被侵染房间。这包括使用吸尘器移除可见臭虫,对衣服、床单等洗涤或进行高温烘干处理,使用蒸汽处理沙发、床垫,使用硅藻土和溴虫腈喷雾剂等;第二步,监测和再处理。在第一次防治后每隔 2 周,检查臭虫监测器的臭虫数量,对监测到的臭虫数量低于 5 头的公寓,使用非化学防治法进行处理。对于监测到的臭虫数量多于 5 头的,使用非化学和化学方法进行处理。如 2 周后臭虫监测器内没有发现臭虫,则对整个公寓进行详细检查,重点是床和常用的沙发。如果连续 3 次通过监测器和详细检查都没发现臭虫,才确定臭虫被完全灭除。确定臭虫完全灭绝后才能停止监测和防治是小区臭虫综合治理成功的关键。此外,检查新搬入住户的床和家具等高风险物品,切断臭虫的可能来源。

7 小结与展望

国外近 20 年来臭虫大范围的重新猖獗给居民和业主造成了沉重的经济负担,虽然开发了许多新的产品和防治方法,但臭虫已经传入很多社区并成为常见害虫。我国局部地区也已频繁发生,如不采取有效的预防措施,臭虫在我国很有可能像其他国家那样继续扩散到更广阔的范围。为阻止臭虫在我国进一步扩散和对已有发生地进行更有效的臭虫灭绝工作,需要政府、社区和科研单位协同对臭虫的发生进行研究治理。第一,对臭虫发生呈上升趋势的地区和环境进行臭虫调查与监测;第二,进行臭虫抗性监测,为制定合理的防治策略提供科学依据;第三,开发新型的低残留或生物源的臭虫防治药剂和非化学防治方法;第四,根据我国具体国情和臭虫发生环境开发出针对性的和有效的监测工具。以火车卧铺车厢为例,因为人员流动大,卧具使用频繁,臭虫的监测较难,适宜的监测工具还有待开发。国外臭虫重新发生以温带臭虫为主,国际上近 10 年的文章主要也是以温带臭虫为研究对象。温带臭虫和热带臭虫在我国均有发生,臭虫发生呈上升趋势的珠江三角洲地区以热带臭虫为主,因此我国需要加强对热带臭虫的研究。

目前防治臭虫的每种防治方法都有其局限性,借鉴国际上臭虫防治标准(National Pest Management Association, 2011; Doggett, 2013),根据我国具体国情(人口密度大、每户居住人多、人口流动快等)制定出切实可行的防治标准,制定适于工人宿舍、火车等环境的臭虫防治方案,对专业技术人员进行臭虫防治培训,使其防治方法规范,减少杀虫剂使用和减缓臭虫抗药性的产生,提高臭虫的防治效果。

最后,提高认识和加强宣传教育是做好臭虫防治工作的基础。姜志宽和韩招久(2012)认为我国过去成功灭除臭虫的经验与做法,一是要发动群众,采取综合措施,反复进行;二是要做到全面、细致、彻底。积极开展臭虫科普活动,让群众重新认识臭虫,使群众对臭虫做到早发现,早防治,杜绝扩散。同时对臭虫常发生区,定期组织专业人员对臭虫为害进行调查监测,尽早发现,防止蔓延。

参考文献(References)

Aak A, Rukke BA, 2014. Bed bugs, their blood sources and life history parameters: a comparison of artificial and natural feeding. *Med. Vet. Entomol.*, 28(1): 50-59.

Akhoundi M, Kengne P, Cannet A, Brengues C, Berenger JM, Izri A, Marty P, Simard F, Fontenille D, Delaunay P, 2015. Spatial genetic structure and restricted gene flow in bed bugs (*Cimex lectularius*) populations in France. *Infect. Genet. Evol.*, 34: 236-243.

Angelakis E, Socolovschi C, Raoult D, 2013. *Bartonella quintana* in *Cimex hemipterus*, Rwanda. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 89(5): 986-987.

Araujo RN, Costa FS, Gontijo NF, Gonçalves TCM, Pereira MH, 2009. The feeding process of *Cimex lectularius* (Linnaeus 1758) and *Cimex hemipterus* (Fabricius 1803) on different bloodmeal sources. *J. Insect Physiol.*, 55(12): 1151-1157.

Bai X, Mamidala P, Rajarapu SP, Jones SC, Mittapalli O, 2011. Transcriptomics of the bed bug (*Cimex lectularius*). *PLoS ONE*, 6(1): e16336.

Barbarin AM, Gebhardtsbauer R, Rajotte EG, 2013. Evaluation of blood regimen on the survival of *Cimex lectularius* L. using life table parameters. *Insects*, 4(2): 273-286.

Barbarin AM, Jenkins NE, Rajotte EG, Thomas MB, 2012. A preliminary evaluation of the potential of *Beauveria bassiana* for bed bug control. *J. Invertebr. Pathol.*, 111(1): 82-85.

Bed Bug Foundation, 2013. European Code of Practice, Bed Bug

Management. 2nd ed. http://bedbugfoundation.org/ecop/. [accessed 5 September 2016]

Bennett GW, Gondhalekar AD, Wang C, Buczkowski G, Gibb TJ, 2016. Using research and education to implement practical bed bug control programs in multifamily housing. *Pest Manag. Sci.*, 72(1): 8 – 14.

Benoit JB, Adelman ZN, Reinhardt K, Dolan A, Poelchau M, Jennings EC, Szuter EM, Hagan RW, Gujar H, Shukla JN, Zhu F, Mohan M, Nelson DR, Rosendale AJ, Derst C, Resnik V, Wernig S, Menegazzi P, Wegener C, Peschel N, Hendershot JM, Blenau W, Predel R, Johnston PR, Ioannidis P, Waterhouse RM, Nauen R, Schorn C, Ott MC, Maiwald F, Johnston JS, Gondhalekar AD, Scharf ME, Peterson BF, Raje KR, Hottel BA, Armisén D, Crumière AJJ, Nagui P, Santos ME, Sghaier E, Viala S, Khila A, Ahn SJ, Childers C, Lee CY, Lin H, Hughes DST, Duncan EJ, Murali SC, Qu J, Dugan S, Lee SL, Chao H, Dinh H, Han Y, Doddapaneni H, Worley KC, Muzuy DM, Wheeler D, Panfilio KA, Jentzsch IMV, Vargo EL, Booth W, Friedrich M, Weirauch MT, Anderson MAE, Jones JW, Mittapalli O, Zhao C, Zhou JJ, Evans JD, Attardo GM, Robertson HM, Zdobnov EM, Ribeiro JMC, Gibbs RA, Werren JH, Palli SR, Schal C, Richards S, 2016. Unique features of a global human ectoparasite identified through sequencing of the bed bug genome. *Nat. Commun.*, 7: 10165.

Braun EJ, 2014. Turning up the heat on bed bugs. *Pest Control Technol.*, 42(3): 76, 81.

Busvine JR, 1957. Recent progress in the eradication of bed bugs. *Sanitarian*, 65: 365 – 369.

Cooper RA, Wang C, Singh N, 2014. Accuracy of trained canines for detecting bed bugs (Hemiptera: Cimicidae). *J. Econ. Entomol.*, 107(6): 2171 – 2181.

Cooper RA, Wang C, Singh N, 2015a. Mark-release-recapture reveals extensive movement of bed bugs (*Cimex lectularius* L.) within and between apartments. *PLoS ONE*, 10(9): e0136462.

Cooper RA, Wang C, Singh N, 2015b. Evaluation of a model community-wide bed bug management program in affordable housing. *Pest Manag. Sci.*, 72(1): 45 – 56.

Dang K, Lilly DG, Bu W, Doggett SL, 2014. Simple, rapid and cost-effective technique for the detection of pyrethroid resistance in bed bugs, *Cimex* spp. (Hemiptera: Cimicidae). *Aust. Entomol.*, 54 (2): 191 – 196.

Dang K, Toi CS, Lilly DG, 2015. Identification of putative *kdr* mutations in the tropical bed bug, *Cimex hemipterus* (Hemiptera: Cimicidae). *Pest Manag. Sci.*, 71(7): 1015 – 1020.

Davies TGE, Field LM, Usherwood PNR, Williamson MS, 2007. DDT, pyrethrins, pyrethroids and insect sodium channels. *IUBMB Life*, 59(3): 151 – 162.

Davies TGE, Field LM, Williamson MS, 2012. The re-emergence of the bed bug as a nuisance pest: implications of resistance to the pyrethroid insecticides. *Med. Vet. Entomol.*, 26(3): 241 – 254.

Delaunay P, Blanc V, Del GP, Levy-Bencheton A, Chosidow O, Marty P, Brouqui P, 2011. Bedbugs and infectious diseases. *Clin. Infect. Dis.*, 52(2): 200 – 210.

DeVries ZC, Kells SA, Appel AG, 2015. Effects of starvation and molting on the metabolic rate of the bed bug (*Cimex lectularius* L.). *Physiol. Biochem. Zool.*, 88(1): 53 – 65.

Doggett SL, 2013. A Code of Practice for the Control of Bed Bug Infestations in Australia. 4th ed. http://medent.usyd.edu.au/bedbug/bedbug_cop.htm. [accessed 5 September 2016]

Doggett SL, Dwyer DE, Peñas PF, Russell RC, 2012. Bed bugs: clinical relevance and control options. *Clin. Microbiol. Rev.*, 25 (1): 164 – 192.

Doggett SL, Russell RC, 2008. The resurgence of bed bugs, *Cimex* spp. (Hemiptera: Cimicidae) in Australia: experiences from down under. In: Robinson WH, Bajomi D eds. Proceedings of the 6th International Conference on Urban Pests. OOK-Press, Pápai. 407 – 425.

Fan HJ, 1982. A bed bug feeding system. *Entomol. Knowl.*, (1): 34 – 35. [范惠炯, 1982. 温带臭虫的饲养. 昆虫知识, (1): 34 – 35]

Feldlaufer MF, Ulrich KR, 2015. Essential oils as fumigants for bed bugs (Hemiptera: Cimicidae). *J. Entomol. Sci.*, 50(2): 129 – 137.

Goddard J, 2009. Bed bugs (*Cimex lectularius*) and clinical consequences of their bites. *JAMA*, 301(13): 1358 – 1366.

Goodman MH, Potter MF, Haynes KF, 2013. Effects of juvenile hormone analog formulations on development and reproduction in the bed bug *Cimex lectularius* (Hemiptera: Cimicidae). *Pest Manag. Sci.*, 69(2): 240 – 244.

Gordon JR, Potter MF, Haynes KF, 2015. Insecticide resistance in the bed bug comes with a cost. *Sci. Rep.*, 5: 10807.

Gries R, Britton R, Holmes M, Zhai H, Draper J, Gries G, 2015. Bed bug aggregation pheromone finally identified. *Angew. Chem.*, 54 (4): 1135 – 1138.

Harlan HJ, 2006. Bed bugs 101: the basics of *Cimex lectularius*. *Am. Entomol.*, 52(2): 99 – 101.

Harraca V, Ryne C, Birgersson G, Ignell R, 2012. Smelling your way to food: can bed bugs use our odour? *J. Exp. Biol.*, 215(4): 623 – 629.

Hirao M, 2010. Recent resurgence of bedbug and its management. *Med. Entomol. Zool.*, 61(3): 211 – 221.

How YF, Lee CY, 2010a. Fecundity, nymphal development and longevity of field-collected tropical bedbugs, *Cimex hemipterus*. *Med. Vet. Entomol.*, 24(2): 108 – 116.

How YF, Lee CY, 2010b. Effects of temperature and humidity on the survival and water loss of *Cimex hemipterus* (Hemiptera: Cimicidae). *J. Med. Entomol.*, 47(6): 987 – 995.

How YF, Lee CY, 2010c. Effects of life stages and feeding regimes on active movement behavior of the tropical bed bug, *Cimex hemipterus* (Hemiptera: Cimicidae). *J. Med. Entomol.*, 47(3): 305 – 312.

How YF, Lee CY, 2011. Surface contact toxicity and synergism of several insecticides against different stages of the tropical bed bug, *Cimex hemipterus* (Hemiptera: Cimicidae). *Pest Manag. Sci.*, 67 (6): 734 – 740.

Hwang SW, Svoboda TJ, Jong IJD, Kabasele KJ, Evie G, 2005. Bed bug infestations in an urban environment. *Emerg. Infect. Dis.*, 11 (4): 533 – 538.

Kells SA, Goblirsch MJ, 2011. Temperature and time requirements for

controlling bed bugs (*Cimex lectularius*) under commercial heat treatment conditions. *Insects*, 2(4): 412 – 422.

Kilpinen O, Kristensen M, Karl-Martin VJ, 2011. Resistance differences between chlorpyrifos and synthetic pyrethroids in *Cimex lectularius* population from Denmark. *Parasitol. Res.*, 109(5): 1461 – 1464.

Kilpinen O, Vagn Jensen KM, Kristensen M, 2008. Bed bug problems in Denmark, with a European perspective. In: Robinson WH, Bajomi D eds. Proceedings of the 6th International Conference on Urban Pests. OOK-Press, Pápai. 395 – 399.

Koganemaru R, Miller DM, Adelman ZN, 2013. Robust cuticular penetration resistance in the common bed bug (*Cimex lectularius* L.) correlates with increased steady-state transcript levels of cpr-type cuticle protein genes. *Pestic. Biochem. Physiol.*, 106 (3): 190 – 197.

Jiang ZK, Han ZJ, 2012. Progress in research on bed bug. In: Proceedings of 13th General Meeting and Scientific Conference of the Entomological Society of Jiangsu. The Entomological Society of Jiangsu, Nanjing. 10. [姜志宽, 韩招久, 2012. 臭虫及其防治研究进展. 见: 江苏省昆虫学会第十三次会员代表大会暨学术研讨会论文摘要集. 南京: 江苏省昆虫学会. 10]

Lee IY, Ree HI, An SJ, Linton JA, Yong TS, 2008. Re-emergence of the bedbug *Cimex lectularius* in Seoul, Korea. *Korean J. Parasitol.*, 46(4): 269 – 271.

Lehnert MP, Pereira RM, Koehler PG, Walker W, Lehnert MS, 2011. Control of *Cimex lectularius*, using heat combined with dichlorvos resin strips. *Med. Vet. Entomol.*, 25(4): 460 – 464.

Leulmi H, Bitam I, Berenger J M, Lepidi H, Jean Marc Rolain JM, Almeras L, Raoult D, Parola P, 2015. Competence of *Cimex lectularius* bed bugs for the transmission of *Bartonella quintana*, the agent of trench fever. *PLoS Negl. Trop. Dis.*, 9(5): e0003789.

Li MD, Gu YN, Hu XY, 1984. Observation of bed bug feeding behavior under laboratory condition. *Railway Med. J.*, 12(1): 26 – 28. [黎明达, 顾咏楠, 胡修元, 1984. 臭虫吸血习性的实验观察. 铁道医学, 12(1): 26 – 28]

Li XW, Ma T, Wang P, Wen XJ, Huang ZY, Wang CL, 2013. Bug hazard investigation in Shenzhen. *Chin. J. Hyg. Insect. Equip.*, 19 (3): 236 – 238. [李兴文, 马涛, 王蓬, 温秀军, 黄增玉, Wang CL, 2013. 深圳地区臭虫侵害调查研究. 中华卫生杀虫药械, 19(3): 236 – 238]

Lilly DG, Latham SL, Webb CE, Doggett SL, 2016. Cuticle thickening in a pyrethroid-resistant strain of the common bed bug, *Cimex lectularius* L. (Hemiptera: Cimicidae). *PLoS ONE*, 11 (4): e0153302.

Mamidala P, Wijeratne A J, Wijeratne S, Kornacker K, Sudhamalla B, Rivera-Vega LJ, Hoelmer A, Meulia T, Jones SC, Mittapalli O, 2012. RNA-seq and molecular docking reveal multi-level pesticide resistance in the bed bug. *BMC Genomics*, 13(6): 1 – 16.

McNeill CA, Pereira RM, Koehler PG, McNeill SA, Baldwin RW, 2016. Behavioral responses of nymph and adult *Cimex lectularius* (Hemiptera: Cimicidae) to colored harborages. *J. Med. Entomol.*, doi: http://dx.doi.org/10.1093/jme/tjw033.

Montes C, Cuadrillero C, Vilella D, 2002. Maintenance of a laboratory colony of *Cimex lectularius* (Hemiptera: Cimicidae) using an artificial feeding technique. *J. Med. Entomol.*, 39(4): 675 – 679.

Moore DJ, Miller DM, 2009. Field evaluations of insecticide treatment regimens for control of the common bed bug, *Cimex lectularius*, (L.). *Pest Manag. Sci.*, 65(3): 332 – 338.

Narain BR, Lalithambika S, Kamble TS, 2015. Genetic variability and geographic diversity of the common bed bug (Hemiptera: Cimicidae) populations from the midwest using microsatellite markers. *J. Med. Entomol.*, 52(4): 566.

National Pest Management Association, 2011. Best management practices for bed bugs. http://npmapestworld.org/default/assets/File/publicpolicy/NPMABedBugBMP-10-22-11.pdf. [accessed 5 September 2016]

Naylor RA, Boase CJ, 2010. Practical solutions for treating laundry infested with *Cimex lectularius* (Hemiptera: Cimicidae). *J. Econ. Entomol.*, 103(1): 136 – 139.

Olson JF, Eaton M, Kells SA, Morin V, Wang C, 2013. Cold tolerance of bed bugs and practical recommendations for control. *J. Econ. Entomol.*, 106(6): 2433 – 2441.

Palenchar JD, Gellatly JK, Yoon KS, Mumcuoglu KY, Shalom U, Clark JM, 2015. Quantitative sequencing for the determination of kdr-type resistance allele (v419l, l925i, i936f) frequencies in common bed bug (Hemiptera: Cimicidae) populations collected from Israel. *J. Med. Entomol.*, 52(5): 1018 – 1027.

Pereira RM, Koehler PG, Margie P, Wayne W, 2009. Lethal effects of heat and use of localized heat treatment for control of bed bug infestations. *J. Econ. Entomol.*, 102(3): 1182 – 1188.

Pfiester M, Koehler PG, Pereira RM, 2009. Effect of population structure and size on aggregation behavior of *Cimex lectularius* (Hemiptera: Cimicidae). *J. Med. Entomol.*, 46(5): 1015 – 1020.

Pfiester M, Koehler PR, 2008. Ability of bed bug-detecting canines to locate live bed bugs and viable bed bug eggs. *J. Econ. Entomol.*, 101(4): 1389 – 1396.

Phillips TW, Aikins MJ, Thoms E, Demark J, Wang C, 2014. Fumigation of bed bugs (Hemiptera: Cimicidae): effective application rates for sulfuryl fluoride. *J. Econ. Entomol.*, 107(4): 1582 – 1589.

Polanco AM, Brewster CC, Miller DM, 2011a. Population growth potential of the bed bug, *Cimex lectularius* L.: a life table analysis. *Insects*, 2: 173 – 185.

Polanco AM, Miller DM, Brewster CC, 2011b. Survivorship during starvation for *Cimex lectularius* L. *Insects*, 2: 232 – 242.

Potter MF, 2006. The perfect storm: an extension view on bed bugs. *Am. Entomol.*, 52(2): 102 – 104.

Potter MF, 2011. The history of bed bug management – with lessons from the past. *Am. Entomol.*, 57(1): 14 – 25.

Potter MF, Haynes KF, 2014. Bed bug nation: is the United States making any progress? In: Müller G, Pospischil R, Robinson WH eds. Proceedings of the 8th International Conference on Urban Pests. OOK-Press, Pápai. 51 – 58.

Potter MF, Haynes KF, Fredericks J, Henriksen M, 2013. Bed bug nation: are we making any progress? *Pest World*, 5: 5 – 11.

Raab RW, Moore JE, Vargo EL, Rose L, Raab J, Culbreth M, Burzumato G, Koyee A, McCarthy B, Raffaele J, Schal C, Vaidyanathan R, 2016. New introductions, spread of existing matrilines, and high rates of pyrethroid resistance result in chronic infestations of bed bugs (*Cimex lectularius* L.) in lower-income housing. *PLoS ONE*, 11(2): e0117805.

Rahim AHA, Ahmad AH, Ab Majid AH, 2016. Life table analysis of *Cimex hemipterus* F. (Hemiptera: Cimicidae) reared on different types of human blood. *Asian Pac. J. Trop. Dis.*, 6(4): 272 - 277.

Reinhardt K, Siva-Jothy M, 2007. Biology of the bed bugs (Cimicidae). *Annu. Rev. Entomol.*, 52: 351 - 374.

Romero A, Potter MF, Potter DA, Haynes KF, 2007. Insecticide resistance in the bed bug: a factor in the pest's sudden resurgence? *J. Med. Entomol.*, 44(2): 175 - 178.

Rosenfeld JA, Reeves D, Brugler MR, Narechania A, Simon S, Durrett, R, Foox J, Shianna K, Schatz MC, Gandara J, Afshinnekoo E, Lam ET, Hastie AR, Chan S, Cao H, Saghbini M, Kentsis A, Planet PJ, Kholodovych V, Tessler M, Baker R, DeSalle R, Sorkin LN, Kolokotronis SO, Siddall ME, Amato G, Mason CE, 2016. Genome assembly and geospatial phylogenomics of the bed bug *Cimex lectularius*. *Nat. Commun.*, 7: 10164.

Saenz VL, Booth W, Schal C, Vargo EL, 2012. Genetic analysis of bed bug populations reveals small propagule size within individual infestations but high genetic diversity across infestations from the eastern United States. *J. Med. Entomol.*, 49(4): 865 - 875.

Saenz VL, Santangelo RG, Vargo EL, Schal C, 2014. Group living accelerates bed bug (Hemiptera: Cimicidae) development. *J. Med. Entomol.*, 51(1): 293 - 295.

Salazar R, Castillo-Neyra R, Tustin A W, Borrini-Mayorí K, César, Náquira C, Levy MZ, 2015. Bed bugs (*Cimex lectularius*) as vectors of *Trypanosoma cruzi*. *Am. J. Med. Hyg.*, 92(2): 331 - 335.

Siljander ED, Gries R, Khaskin G, Gries G, 2008. Identification of the airborne aggregation pheromone of the common bed bug, *Cimex lectularius*. *J. Chem. Ecol.*, 34(6): 708 - 718.

Singh N, Wang C, Wang D, Cooper R, Zha C. 2016. Comparative efficacy of selected dust insecticides for controlling *Cimex lectularius* (Hemiptera: Cimicidae). *J. Econ. Entomol.*, doi: 10.1093/jee/tow129.

Singh N, Wang C, Cooper R, Liu C, 2012. Interactions among carbon dioxide, heat, and chemical lures in attracting the bed bug, *Cimex lectularius* L. (Hemiptera: Cimicidae). *Psyche*, 2012: 273613.

Singh N, Wang C, Copper RA, 2013a. Natural pesticides for bed bug control: do they work. *Pest Control Technol.*, 41(3): 28, 32.

Singh N, Wang C, Cooper RA, 2013b. Effectiveness of a reduced-risk insecticide based bed bug management program in low-income housing. *Insects*, 4(4): 731 - 742.

Singh N, Wang C, Cooper RA, 2013c. Effect of trap design, chemical lure, carbon dioxide release rate, and source of carbon dioxide on efficacy of bed bug monitors. *J. Econ. Entomol.*, 106(4): 1802 - 1811.

Singh N, Wang C, Cooper RA, 2015a. Role of vision and mechanoreception in bed bug, *Cimex lectularius* L. behavior. *PLoS ONE*, 10(3): e0118855.

Singh N, Wang C, Cooper RA, 2015b. Effectiveness of a sugar-yeast monitor and a chemical lure for detecting bed bugs. *J. Econ. Entomol.*, 108(3): 1 - 6.

Singh N, Wang C, Cooper RA, 2014. Potential of essential oil-based pesticides and detergents for bed bug control. *J. Econ. Entomol.*, 107(6): 2163 - 2170.

Stedfast ML, Miller DM, 2015. Turning up the heat. *Pest Control Technol.*, 43(6): 94, 96, 98 - 100, 114.

Susser SR, Perron S, Fournier M, Jacques L, Denis G, Tessier F, Roberge P, 2012. Mental health effects from urban bed bug infestation (*Cimex lectularius* L.): a cross-sectional study. *BMJ Open*, 2: e000838.

Suwannayod S, Chanbang Y, Buranapanichpan S, 2010. The life cycle and effectiveness of insecticide against the bed bugs of Thailand. *Southeast Asian J. Trop. Med.*, 41(3): 548 - 554.

Teng KF, Feng LC, 1953. The geographical distribution of the two species of bedbugs, *Cimex lectularius* L. and *C. hemiptera* F., in China. *Acta Entomol. Sin.*, 3(2): 253 - 264. [邓国藩, 冯兰洲, 1953. 温带及热带臭虫 *Cimex lectularius* L., *Cimex hemiptera* F. 在中国的地理分布. 昆虫学报, 3(2): 253 - 264]

Ulrich KR, Feldlaufer MF, Kramer M, St. Leger RJ, 2014. Exposure of bed bugs to *Metarhizium anisopliae* at different humidities. *J. Econ. Entomol.*, 107(6): 2190 - 2195.

Ulrich KR, Feldlaufer MF, Kramer M, St. Leger RJ, 2015. Inhibition of the entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae* sensu lato *in vitro* by the bed bug defensive secretions (*E*)-2-hexenal and (*E*)-2-octenal. *BioControl*, 60(4): 1 - 10.

Wang C, Cooper RA, 2011a. Detection tools and techniques. *Pest Control Technol.*, 39(8): 72, 74, 76, 78 - 79, 112.

Wang C, Cooper RA, 2011b. Environmentally sound bed bug management solutions. In: Dhang P ed. Urban Pest Management: An Environmental Perspective. MPG Books Group, Reading, UK. 44 - 63.

Wang C, Cooper RA, 2016. Research update: portable heat chambers. *Pest Control Technol.*, 44(3); 56, 58 - 61.

Wang C, El-Nour MA, Bennett GW, 2007. Controlling bed bugs in apartments - a case study. *Pest Control Technol.*, 35(11): 64 - 70.

Wang C, Gibb T, Bennett GW, McKnight S, 2009. Bed bug (Heteroptera: Cimicidae) attraction to pitfall traps baited with carbon dioxide, heat, and chemical lure. *J. Econ. Entomol.*, 102(4): 1580 - 1585.

Wang C, Lü L, Xu M, 2012a. Carbon dioxide fumigation for controlling bed bugs. *J. Med. Entomol.*, 49(5): 1076 - 1083.

Wang C, Saltzmann K, Bennett G, Gibb T, 2012b. Comparison of three bed bug management strategies in a low-income apartment building. *Insects*, 3(4): 402 - 409.

Wang C, Saltzmann K, Chin E, Bennett GW, Gibb T, 2010. Characteristics of *Cimex lectularius* (Hemiptera: Cimicidae), infestation and dispersal in a high-rise apartment building. *J. Econ. Entomol.*, 103(1): 172 - 177.

Wang C, Singh N, Cooper RA, 2014. Efficacy of an essential oil-based

pesticide for controlling bed bug (*Cimex lectularius*) infestations in apartment buildings. *Insects*, 5(2): 849 – 859.

Wang C, Singh N, Cooper RA, Liu C, Buczkowski G, 2013. Evaluation of an insecticide dust band treatment method for controlling bed bugs. *J. Econ. Entomol.*, 106(1): 347 – 352.

Wang C, Singh N, Zha C, Cooper RA, 2016a. Bed bugs: prevalence in low-income communities, resident's reactions, and implementation of a low-cost inspection protocol. *J. Med. Entomol.*, doi: http://dx.doi.org/10.1093/jme/tjw018.

Wang C, Singh N, Zha C, Cooper RA, 2016b. Efficacy of selected insecticide sprays and aerosols against the common bed bug, *Cimex lectularius* (Hemiptera: Cimicidae). *Insects*, 7(1): 5.

Wang C, Tsai WT, Cooper R, White J, 2011. Effectiveness of bed bug monitors for detecting and trapping bed bugs in apartments. *J. Econ. Entomol.*, 104(1): 274 – 278.

Wang C, Wen X, 2011. Bed bug infestations and control practices in China: implications for fighting the global bed bug resurgence. *Insects*, 2(2): 83 – 95.

Wang L, Cai X, Xu Y, 2015. Status of urban bed bug infestations in southern China: an analysis of pest control service records in Shenzhen in 2012 and Dongguan in 2013. *J. Med. Entomol.*, 52(1): 76 – 80.

Wang L, Xu Y, Zeng L, 2013. Resurgence of bed bugs (Hemiptera: Cimicidae) in mainland China. *Fla. Entomol.*, 96(1): 131 – 136.

Yoon KS, Kwon DH, Strycharz JP, Hollingsworth CS, Lee SH, Clark JM, 2008. Biochemical and molecular analysis of deltamethrin resistance in the common bed bug (Hemiptera: Cimicidae). *J. Med. Entomol.*, 45(6): 1092 – 1101.

Yuan B, Wang L, Chen Z, 2015. Field control of an imported bedbug infestation. *Chin. J. Vector Biol. Control*, 26(4): 428 – 429. [袁斌, 王炼, 陈志健, 2015. 一起输入性臭虫侵扰人群的现场处理. 中国媒介生物学及控制杂志, 26(4): 428 – 429]

Zhu F, Gujar H, Gordon JR, Haynes KF, Potter MF, Palli SR, 2013. Bed bugs evolved unique adaptive strategy to resist pyrethroid insecticides. *Sci. Rep.*, 3: 1456.

Zhu F, Sams S, Moural T, Haynes KF, Potter MF, Palli SR, 2012. RNA interference of NADPH-cytochrome P450 reductase results in reduced insecticide resistance in the bed bug, *Cimex lectularius*. *PLoS ONE*, 7(2): e31037.

Zhu F, Wigginton J, Romero A, Moore A, Ferguson K, Palli R, Potter MF, Haynes KF, Palli SR, 2010. Widespread distribution of knockdown resistance mutations in the bed bug, *Cimex lectularius* (Hemiptera: Cimicidae), populations in the United States. *Arch. Insect Biochem. Physiol.*, 73(4): 245 – 257.

(责任编辑: 赵利辉)